

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-228037

(43)Date of publication of application : 25.08.1998

(51)Int.Cl.

G02F 1/313

(21)Application number : 10-028930

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 10.02.1998

(72)Inventor : KOREN UZIEL  
SNEH ANAT  
ZUCKER JANE ELISA

(30)Priority

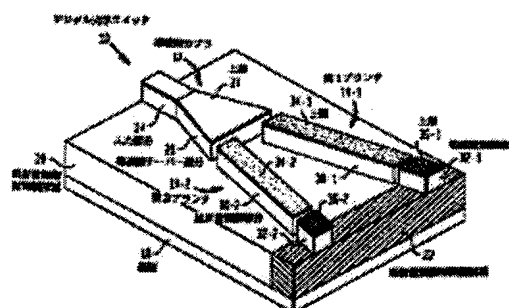
Priority number : 97 799637    Priority date : 10.02.1997    Priority country : US

## (54) METHOD FOR REDUCING CROSSTALK OF OPTICAL SWITCH

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a digital optical switch which reduce crosstalk and does not increase the complexity of control over a switch array.

**SOLUTION:** This optical switch has first and second branches 14 (14-1, 14-2) have refraction quantity control parts 30 (30-1 and 30-2) and absorption quantity control parts 32 (32-1 and 32-2) and an optical signal path which includes part of at least one of the 1st and 2nd branches 14 where optical signals are propagated, and one of the 1st and 2nd branches 14 is selected while the other is not selected; and at least one of the refraction quantity control part 30 of the selected branch and the refraction quantity control part of the unselected branch is so constituted that the optical signals can be propagated along at least part of the selected branch.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-228037

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月25日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 F 1/313

識別記号

F I

G 0 2 F 1/313

審査請求 未請求 請求項の数38 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-28930

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月10日

(31) 優先権主張番号 08/799637

(32) 優先日 1997年2月10日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596077259

ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レイテッド

Lucent Technologies  
Inc.

アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ  
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー  
600-700

(72) 発明者 ウジール コーレン

アメリカ合衆国, 07704 ニュージャージ  
ー、フェア ハーヴェン、フォレスト ア  
ヴェニュー 26

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

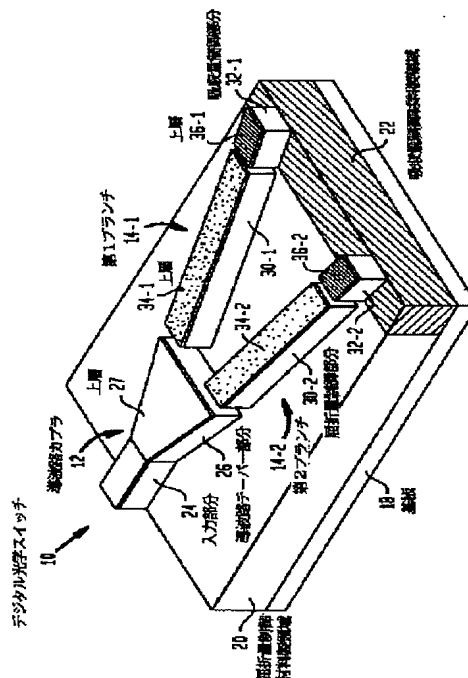
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学スイッチのクロストークの低減方法

(57) 【要約】

【課題】 クロストークを低減させスイッチ列の制御の複雑性も増加させることのないデジタル光学スイッチを提供すること

【解決手段】 屈折量制御部分30と吸収量制御部分32とを有する第1と第2ブランチ14と、光学信号がそこを伝播する前記第1と第2のブランチ14の少なくとも一方の一部を含む光学信号パスとを有し、前記第1と第2のブランチの一方は、選択ブランチとして、他方は非選択ブランチとし、前記選択ブランチの屈折量制御部分と前記非選択ブランチの屈折量制御部分の少なくとも一方を、前記選択ブランチの少なくとも一部に沿って光学信号が伝播できる状態に構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 それぞれが屈折量制御部分と吸収量制御部分とを有する第1ブランチと第2ブランチからなる光学スイッチのクロストーク低減方法において、

(A) スイッチを通る所望の光学信号パスの一部として、第1ブランチと第2ブランチのうち的一方を選択ブランチとして、他方を非選択ブランチとして選択するステップと、

(B) 前記選択ブランチの屈折量制御部分と、前記非選択ブランチの屈折量制御部分の少なくとも一方を、前記選択ブランチの少なくとも一部に沿って光学信号が伝播できる状態に構成するステップと、

(C) 前記選択ブランチの吸収量制御部分を第1吸収レベルの第1吸収状態に構成するステップと、

(D) 前記非選択ブランチの吸収量制御部分を第1レベルの吸収状態以上の第2レベルの吸収状態である第2吸収状態に構成するステップとからなることを特徴とする光学スイッチのクロストークの低減方法。

【請求項2】 前記光学スイッチは、Y型ブランチスイッチとして動作することを特徴とする請求項1の方法。

【請求項3】 前記光学スイッチは、方向性カプラとして動作し、

前記第1ブランチと第2ブランチは、それぞれ第1吸収量制御部分と第2吸収量制御部分を有することを特徴とする請求項1の方法。

【請求項4】 前記(C)のステップは、前記選択ブランチの第1吸収量制御部分と第2吸収量制御部分の両方を第1吸収状態に構成するステップを含むことを特徴とする請求項3の方法。

【請求項5】 前記(D)のステップは、前記非選択ブランチの第1吸収量制御部分と第2吸収量制御部分の一方を第1吸収状態にし、他方を第2吸収状態に構成するステップを含むことを特徴とする請求項3の方法。

【請求項6】 前記(C)、(D)のステップは、

(X) 前記吸収量制御部分の少なくとも一方をゲイン切り換え技術を用いて構成するステップを含むことを特徴とする請求項1の方法。

【請求項7】 前記(X)のステップは、吸収量制御部分に対応する順方向バイアスダイオード構造体に電流を注入するステップを含むことを特徴とする請求項6の方法。

【請求項8】 前記(C)、(D)のステップは、前記吸収量制御部分の少なくとも一方を吸収量制御部分に対応するダイオード構造体に逆バイアスをかける電磁吸収技術(electro-absorptive technique)を用いて構成するステップを含むことを特徴とする請求項1の方法。

【請求項9】 前記(B)のステップは、

(Y) 前記屈折量制御部分の少なくとも一方をキャリア誘導効果を用いて構成するステップを含むことを特徴とする請求項1の方法。

【請求項10】 前記(Y)のステップは、屈折量制御部分に対応する順方向バイアスされたダイオード構造体にキャリアを注入するステップを含むことを特徴とする請求項9の方法。

【請求項11】 前記(Y)のステップは、屈折量制御部分に対応する逆方向バイアスされたダイオード構造体からキャリアをディプレッション(枯渇)させるステップを含むことを特徴とする請求項9の方法。

【請求項12】 前記(B)のステップは、屈折量制御部分に対応するダイオード構造体に逆バイアスをかける電気屈折技術(electro-refractive technique)を用いて前記屈折量制御部分の少なくとも一方を構成するステップを含むことを特徴とする請求項1の方法。

【請求項13】 (A) 屈折量制御部分(30)と吸収量制御部分(32)とを有する第1と第2ブランチ(14)と、

(B) 光学信号がそこを伝播する前記第1と第2のブランチ(14)の少なくとも一方の一部を含む光学信号パスとからなり、前記第1と第2のブランチの一方は、選択ブランチとして、他方は非選択ブランチとし、前記選択ブランチの屈折量制御部分と前記非選択ブランチの屈折量制御部分の少なくとも一方を、前記選択ブランチの少なくとも一部に沿って光学信号が伝播できる状態に構成され、

前記選択ブランチの吸収量制御部分を第1吸収レベルの第1吸収状態に構成され、

前記非選択ブランチの吸収量制御部分を第1レベルの吸収状態以上の第2レベルの吸収状態である第2吸収状態に構成されることを特徴とする光学スイッチ。

【請求項14】 前記光学スイッチは、Y型ブランチスイッチとして動作することを特徴とする請求項13のスイッチ。

【請求項15】 前記光学スイッチは、方向性カプラとして動作し、

前記第1ブランチと第2ブランチは、それぞれ第1吸収量制御部分と第2吸収量制御部分を有することを特徴とする請求項13のスイッチ。

【請求項16】 前記選択ブランチの第1と第2の吸収量制御部分の両方を第1吸収状態に構成することを特徴とする請求項15のスイッチ。

【請求項17】 前記非選択ブランチの第1と第2の吸収量制御部分の一方を第1吸収状態にし、他方を第2吸収状態に構成することを特徴とする請求項15のスイッチ。

【請求項18】 前記吸収量制御部分の少なくとも一方をゲイン切り換え技術を用いて構成することを特徴とする請求項13のスイッチ。

【請求項19】 前記吸収量制御部分の少なくとも一方は、電流を順方向バイアスされたダイオード構造体に注入することによりゲイン切り換え技術を用いて構成する

ことを特徴とする請求項 18 のスイッチ。

【請求項 20】 前記吸収量制御部分の少なくとも一方を吸収量制御部分に対応するダイオード構造体に逆バイアスをかける電磁吸収技術を用いて構成することを特徴とする請求項 13 のスイッチ。

【請求項 21】 前記屈折量制御部分の少なくとも一方をキャリア誘導効果を用いて構成することを特徴とする請求項 13 のスイッチ。

【請求項 22】 前記キャリア誘導効果は、屈折量制御部分に対応する順方向バイアスされたダイオード構造体にキャリアを注入することを含むことを特徴とする請求項 21 のスイッチ。

【請求項 23】 前記キャリア誘導効果は、屈折量制御部分に対応する逆方向バイアスされたダイオード構造体からキャリアを枯渇させることを含むことを特徴とする請求項 21 のスイッチ。

【請求項 24】 屈折量制御部分に対応するダイオード構造体に逆バイアスをかける電気屈折技術 (electro-refractive technique) を用いて前記屈折量制御部分の少なくとも一方を構成することを特徴とする請求項 13 のスイッチ。

【請求項 25】 (A) 基板上に形成された屈折量制御材料製の領域と、

(B) 前記 (A) 屈折量制御材料製領域に隣接して基板上に形成された吸収量制御材料製領域と、

(C) 前記屈折量制御材料製領域の屈折量制御領域と、前記吸収量制御材料製領域の吸収量制御部分とをそれぞれが有する第 1 と第 2 のブランチとからなることを特徴とする光学スイッチ。

【請求項 26】 前記屈折量制御部分と吸収量制御部分は、それぞれ屈折量制御材料製領域と、吸収量制御材料製領域の上のリッジ型の導波路構造体として形成されることを特徴とする請求項 25 の光学スイッチ。

【請求項 27】 前記屈折量制御部分と吸収量制御部分は、下の部分内に少なくとも部分的に埋設された導波路構造体として形成されることを特徴とする請求項 25 の光学スイッチ。

【請求項 28】 (D) 光学信号がそこを伝播する前記第 1 と第 2 のブランチの少なくとも一方の一部を含む光学信号パスを有し、

前記第 1 と第 2 のブランチの一方は選択ブランチとし、

他方は非選択ブランチとし、

前記選択ブランチの屈折量制御部分は、前記非選択ブランチの屈折量制御部分を、前記選択ブランチの少なくとも一部に沿って光学信号が伝播できるような第 1 有効屈折率を与える状態に構成し、

前記非選択ブランチの屈折量制御部分は、前記非選択ブランチの屈折量制御部分を、前記選択ブランチの少なくとも一部に沿って光学信号が伝播できるような第 1 有効屈折率よりも低い第 2 有効屈折率を提供する状態に構成

し、

前記選択ブランチの吸収量制御部分は、第 1 吸収レベルの第 1 吸収状態にし、

前記非選択ブランチの吸収量制御部分は、第 1 レベルの吸収状態よりも大きい吸収量を与える第 2 レベルの吸収状態である第 2 吸収状態に構成されることを特徴とする請求項 25 の光学スイッチ。

【請求項 29】 前記吸収量制御部分の少なくとも一方は、電流を順方向バイアスされたダイオード構造体に注入することによりゲイン切り換え技術を用いて構成することを特徴とする請求項 25 のスイッチ。

【請求項 30】 前記吸収量制御部分の少なくとも一方を吸収量制御部分に対応するダイオード構造体に逆バイアスをかける電磁吸収技術を用いて構成することを特徴とする請求項 25 のスイッチ。

【請求項 31】 前記屈折量制御部分の少なくとも一方をキャリア誘導効果を用いて構成することを特徴とする請求項 25 のスイッチ。

【請求項 32】 前記キャリア誘導効果は、屈折量制御部分に対応する順方向バイアスされたダイオード構造体にキャリアを注入することを含むことを特徴とする請求項 31 のスイッチ。

【請求項 33】 前記キャリア誘導効果は、屈折量制御部分に対応する逆方向バイアスされたダイオード構造体からキャリアを枯渇させることを含むことを特徴とする請求項 31 のスイッチ。

【請求項 34】 屈折量制御部分に対応するダイオード構造体に逆バイアスをかける電気屈折技術 (electro-refractive technique) を用いて前記屈折量制御部分の少なくとも一方を構成することを特徴とする請求項 25 のスイッチ。

【請求項 35】 (A) それぞれが屈折量制御部分と吸収量制御部分とを有する第 1 と第 2 のブランチをそれぞれが有するサブセットを有する複数の光学スイッチと、

(B) 光学信号がスイッチ列を伝播する前記第 1 と第 2 のブランチの少なくとも一方の一部を含む光学信号パスとからなり、

前記あるスイッチの第 1 と第 2 のブランチの一方は選択ブランチとして、他方は非選択ブランチとし、

前記選択ブランチの屈折量制御部分は、前記非選択ブランチの屈折量制御部分を、前記選択ブランチの少なくとも一部に沿って光学信号が伝播できるような第 1 有効屈折率を与える状態に構成し、

前記非選択ブランチの屈折量制御部分は、前記非選択ブランチの屈折量制御部分を、前記選択ブランチの少なくとも一部に沿って光学信号が伝播できるような第 1 有効屈折率よりも低い第 2 有効屈折率を提供する状態に構成し、

前記選択ブランチの吸収量制御部分は、第 1 吸収レベルの第 1 吸収状態にし、

前記非選択ブランチの吸収量制御部分は、第1レベルの吸収状態よりも大きい吸収量を与える第2レベルの吸収状態である第2吸収状態に構成されることを特徴とする光学スイッチ列。

【請求項36】 スイッチ列の複数の光学スイッチの屈折率制御部分と吸収量制御部分とは、光学信号に対し、ルーティング機能を提供するよう構成されることを特徴とする請求項35のスイッチ列。

【請求項37】 スイッチ列の複数の光学スイッチの屈折率制御部分と吸収量制御部分とは、光学信号に対し、放送機能を提供するよう構成されることを特徴とする請求項35のスイッチ列。

【請求項38】 スイッチ列の複数の光学スイッチの屈折率制御部分と吸収量制御部分とは、光学信号に対し、無接続機能を提供するよう構成されることを特徴とする請求項35のスイッチ列。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、デジタル光学スイッチに関し、特に光学切り換え機能を制御するために、屈折率変化と吸収率変化の効果を利用するデジタル光学スイッチに関する。

【0002】

【従来の技術】 波長分割多重光学システムにおける光学ルーティングは、スイッチ列を含む波長と極性に影響されない光交換網構成を必要とする。このスイッチ列は、デジタル光学スイッチあるいはレーザ増幅ゲートスイッチを用いて InGaAsP/InP の光学デバイスで実現される。このデジタル光学スイッチのアプローチの利点は、デジタル光学スイッチの波長と極性に対する感受性が低いことである。

【0003】 InP ベースのデジタル光学スイッチは、LiNbO<sub>3</sub> で実現されるものよりはより小形で、大きなスイッチ列を形成するのに他の活性デバイスとより集積しやすい。しかし、1 個の Y 型ブランチデジタル光学スイッチで約 -15 dB 以下の良好な極性無依存性のクロストークを常に達成することは困難である。この難しさは、Y 型ブランチ構造体に沿って二次の局部的正常モード励起 (normal mode excitation) を抑制する必要があることに起因している。

【0004】 この局部的正常モード励起を低減する従来のアプローチは、小さな開脚角で 5 mm 以上の比較的長いデバイスを用いてアディアバティック (adiabatic、モード変換のない) なモード展開を行うことである。しかし、このアプローチは、伝播損失と曲げ損失が増加してしまい過剰な切り換え損失が発生してしまう。

【0005】 Y 型ブランチのデジタル光学スイッチの大きさと損失を低減する試みは、数多くの形状 (shaping) 設計となっている。代表的な形状設計は、H. Okaya, M. Kawahara 著の "Reduction of Voltage-Length P

roduct for Y-branch Digital Optical Switch," Journal of Lightwave Technology, Vol. 11, No. 2, pp. 379-387, February, 1993 と、および W.K. Burns 著の "Shaping the Digital Switch," IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 4, No. 8, pp. 861-863, August, 1992 と、M.N. Khan et al. 著の "Design and Demonstration of Weighted-Coupling Digital Y-branch Optical Switches in InGaAs/InGaAlAs Electron Transfer Waveguides," Journal of Lightwave Technology, Vol. 12, No. 11, pp. 2032-2039, November, 1994 に記載されている。

【0006】 これらやその他の形状設計 (shaping designs) は、一次の局部的正常モードと、二次モードとを結合してしまいそのためクロストークの極性と電圧の依存性を増加させてしまう。さらにまたこの従来の方法によるスイッチは、その製造誤差に左右され易く、二次モードを励起する欠点があり、そのためさらにクロストークが増加してしまう。

【0007】 その結果、この拡張型の交換技術は、-25 dB 以下のクロストーク値しか必要としないようなアプリケーションでは通常用いられている。この拡張型のため、クロストークをさらに低減するためには、現在のスイッチに余分のスイッチ段を追加しなければならない。この拡張型交換技術は、K. Padmanabhan, A.N. Netravali 著の "Dilated Networks for Photonic Switching," IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-35, No. 12, pp. 1357-1365, December, 1987 に記載されている。

【0008】 しかし、この交換スイッチ段を追加することは、全体のスイッチの損失を増加させるだけでなくスイッチ列の大きさも増加させてしまう。さらにまた、拡張型スイッチ列は、非拡張型スイッチ列に比較して、拡張型スイッチ段のスイッチ構成要素の入切の決定は、スイッチ列を通る特定の信号パスに依存する点でより複雑な電子制御を必要とする。

【0009】 上記のレーザ増幅器ゲートスイッチのアプローチは、デジタル光学スイッチのアプローチよりも例えば -30 dB 以下のオーダーでより良好なクロストーク性能を与えることができる。しかし、このレーザ増幅器ゲートスイッチのアプローチは、スイッチ列内に増幅自然放射 (amplified spontaneous emission (ASE)) が蓄積してクロストークが増加することになる。

【0010】 さらにまた、スイッチ列内で均一な性能と低い極性依存性損失 (polarization dependent loss (PDL)) とチップのクロストークを低減することは極めて困難である。さらにまた、この増幅器の性能は、活性領域と受動領域の間のインタフェースでの残留反射と、チップ間のインタフェースの均一性により影響される。これらの要因により、多くの実際の光学スイッチのアプリケーションでレーザ増幅ゲートスイッチのアプロ

ーチを実行するのは困難となる。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】したがって本発明の目的は、従来の拡張型のアプローチあるいは整形（形状）のアプローチにおける欠点を回避しながら、デジタル光学スイッチのクロストークの性能を改善することである。さらに本発明の目的は、デジタル光学スイッチのクロストークを低減させその大きさを増加させることなく、スイッチ列の制御の複雑性も増加させることのないデジタル光学スイッチを提供することである。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の集積デジタル光学スイッチは、光学システム内で光学信号処理機能を実行するのに適したものである。モード干渉により誘導されるクロストークは、スイッチ構造内の別々の部分に適宜の損失、利得変化および／または屈折率変化部分を具備させることによりスイッチ内で抑制できる。本発明の光学スイッチは、屈折量制御部分と吸収量制御部分の両方を有するスイッチブランチを用いている。この屈折量制御部分は、ブランチに沿って光学信号が伝播できるように高い有効屈折率、あるいは光学信号を減衰させるような低い有効屈折率のいずれかを与えるよう構成されている。

【0013】一方吸収量制御部分は、光学信号がブランチに沿って伝播できるように低い吸収レベル、あるいはクロストークを低減させるために光学信号を減衰させるような高い吸収レベルのいずれかを与えるよう構成されている。スイッチの屈折量制御部分と吸収量制御部分とはクロストークを低減する際に、スイッチの大きさ、スイッチの挿入損失あるいはこれらスイッチから構成されるスイッチ列の制御の複雑さを増加させることなく達成できるように実現される。

【0014】屈折量制御部分の屈折率の変化は、量子井戸材料内の量子閉じ込めシタルク効果（quantum confined Stark effect (QCSE)）とバルク材料内のフランツケルディッシュ（Frans-Keldysh）効果のような電子屈折技術およびキャリア誘導効果のような技術を用いて与えられる。吸収量制御部分の吸収レベルの変化は、QCSEあるいはフランツケルディッシュ効果のような電子吸収技術およびゲイン切り換えのような他の技術を用いて得られる。

【0015】この電子屈折技術および電子吸収技術は、屈折量制御部分と吸収量制御部分に対応するダイオード構造体に逆バイアスをかけることにより得られる。キャリア誘導効果による屈折制御は、屈折量制御部分に関連する順方向にバイアスされたダイオード構造体にキャリアを注入する（injecting）ことにより、あるいは屈折量制御部分の逆方向にバイアスされたダイオード構造体からキャリアを取り除くまたは枯渇させる（depleting）ことが必要である。ゲイン切り換えによる吸収制御

は、注入電流がない場合には大きな伝播損失を有するような吸収量制御部分に関連する順方向にバイアスされたダイオード構造体に電流を注入することにより、その吸収制御領域内のゲインを誘導することが必要である。

【0016】本発明によれば、Y型ブランチスイッチは、結合部分と第1ブランチと第2ブランチとを有し、このブランチは結合部分から光学信号パワーを受領したり、光学信号パワーを結合部分に分配したりする。これらのブランチは、結合部分に隣接し、基板上に形成された屈折制御材料領域の第1部分と、基板上に形成された吸収制御材料の領域の第2部分とをそれぞれ有する導波路として形成される。このスイッチの屈折量制御部分と吸収量制御部分とおよび他の部分は、InGaAsP/InP, InGaAs/InAlAs, AlGaAs/GaAsあるいは他の適当な量子井戸あるいはバルクの半導体材料を用いたp-i-nダイオード構造体を形成するよう構成される。

【0017】このブランチの屈折量制御部分は、その下の屈折制御材料とともに動作して、屈折率変化を与え、これによりスイッチを構成して所望の光学信号ルーティングを達成する。このブランチの吸収量制御部分は、その下の吸収制御材料とともに動作して、スイッチの非選択ブランチに吸収を導入することによりクロストークを低減するか、あるいは両方のブランチに吸収を導入することにより信号出力を完全に阻止する。

【0018】例えば、スイッチの第1ブランチが低伝播損失でもって光学信号を通過させるために、低吸収のオフ状態にある場合には、非選択の第2ブランチの吸収量制御部分は、高吸収のオン状態に切り換えられ、吸収を増加し、クロストークを低減させる。1×2のY型ブランチの屈折制御/吸収制御スイッチは、より大きな1×N, N×1, N×M, N×Nのスイッチ列を構成する際の組立ブロックとして用いる。

【0019】例えば、上記のY型ブランチスイッチを4個接続して2×2の完全に阻止しない（strictly non-blocking）スイッチを構成し、そしてこの2×2の完全にノンブロックのスイッチを複数個相互接続することにより、ルーティング機能、放送機能、非接続機能を有するより大きなN×Nの完全にノンブロックのスイッチ列を構成することができる。

【0020】本発明の別の側面によれば、2×2のデジタル光学スイッチは、方向性カプラとしても構成できる。この2×2スイッチは、第1ブランチと第2ブランチとを有し、それぞれ第1吸収量制御部分と屈折量制御部分と第2吸収量制御部分とを有する。このスイッチのあるモードの動作では、光学信号パワーを第1ブランチから第2ブランチに結合するためには、第1ブランチの屈折量制御部分をオフ状態にし、第2ブランチの屈折量制御部分をオン状態にすることにより行われる。

【0021】第1非選択ブランチの吸収量制御部分は、

高吸収のオン状態となりクロストークを低減し、一方、他の吸収量制御部分は、低吸収のオフ状態のままである。1×2のY型ブランチスイッチと同様に2×2の屈折制御／吸収制御デジタル光学スイッチをより大きなN×Nの完全ノンブロックのスイッチ列および他のタイプのスイッチ列を構成する際の組立ブロックとして用いることができる。

【0022】本発明のデジタル光学スイッチは、その大きさと挿入損失あるいはスイッチ列の制御の複雑さを増加させることなくクロストークを低減できる。このようにして本発明は、上記の形状技術および拡張技術の問題点を解決し、これにより波長分割多重光学システムおよび他の光学信号処理アプリケーションにおいて、性能を改善することができる。

#### 【0023】

【発明の実施の形態】本発明をInGaAsP/InPベースのデジタル光学Y型ブランチスイッチを例に説明する。しかし、これは単なる一実施例であり、他の材料、他の構造を用いてクロストークを低減し、かつスイッチの大きさおよび挿入損失あるいはスイッチの制御の複雑さを回避することもできる。本明細書で使用されるデジタル光学スイッチは、1×2 Y型ブランチ光学スイッチに限定されるものではなく、他のタイプの非拡張型あるいは拡張型の光学スイッチおよびルーティングデバイスおよび2×2の方向性カプラも含む。

【0024】屈折量制御部分のオン（入）状態とは、その領域が高い有効屈折率の状態を意味し、オフ（切）状態とは、その領域が低い有効屈折率の状態を意味する。吸収量制御部分のオン（入）状態とは、その領域が高い吸収レベルにある状態を意味し、オフ（切）状態とは、その領域が低い吸収レベルにある状態を意味する。「屈折量制御部分」と「吸収量制御部分」とはデジタル光学スイッチのブランチで、それぞれその下の屈折制御材料または吸収制御材料と共働して動作するデジタル光学スイッチのブランチの対応する部分を称し、そしてスイッチング機能とクロストーク低減機能を与えるものである。

【0025】用語「屈折制御」とは、所望の屈折率変化を引き起こす量子閉じ込めシタルク効果（QCSE）、あるいはフランツケルディッシュ効果のような電子屈折効果に従って動作する材料または構造体のみならず、キャリア誘導効果のような他の効果に基づいて動作する材料または構造体も含むものとする。用語「吸収制御」とは、所望の吸収率変化を引き起こす量子閉じ込めシタルク効果（QCSE）、あるいはフランツケルディッシュ効果のような電子吸収効果に従って動作する材料または構造体のみならず、ゲイン切り換えのような他の技術に基づいて動作する材料または構造体も含むものとする。

【0026】スイッチのブランチの「選択」または「非選択」とは、それぞれ屈折量制御部分がオン状態とオフ

状態にあるスイッチのブランチを意味する。特定のスイッチは、光学信号が選択ブランチに入る前に、非選択ブランチの一部内を伝播するよう構成することもできる。

【0027】図1に本発明のデジタル光学スイッチ10を示す。この光学スイッチ10は導波路カプラ12と第1ブランチ14-1と第2ブランチ14-2とを有する。光学スイッチ10は、基板18の上に形成され、この基板18はN+InP基板である。屈折量制御材料製領域20が基板18の上に形成され、この領域20は、約20回繰り返すInGaAsP/InPの量子井戸を有する多重量子井戸（multiple quantum-well（MQW））をコアとして有する。別の実施例においては、領域20は、量子井戸材料ではなく半導体材料のバルクで形成してもよい。

【0028】領域20の上に導波路カプラ12とブランチ14-1、14-2の各々の第1部分がある。吸収量制御材料製領域22は基板18の上で光学スイッチ10の出力端に形成され、領域22の上にブランチ14-1、14-2のそれぞれの第2部分がある。導波路カプラ12は、幅が2.2μmで長さが100μmの直線部分の直線上導波路である入力部分24と、その後ろに形成された長さが約250μmの三角形の導波路テーパー部分26とを有する。導波路カプラ12の上層27は、約1000オングストローム厚のp+InGaAs材料層である。導波路テーパー部分26を用いて、例えば前掲のH. Okayama, M. Kawahara 著の論文に記載されているような2本の角の重み付き結合技術を用いて光学スイッチ10を形成できる。図1の寸法は、実際の通りではない。

【0029】ブランチ14-1と14-2は、導波路テーパー部分26の出力点近傍にある入力点で初期の枝分かれて開脚角をもって分離される。このブランチの開脚角度は0.1°のオーダーで、入力点における初期の枝分かれの幅は約1μmである。ブランチ14-1、14-2は、それぞれ第1部分である屈折量制御部分30-1、30-2と第2部分である吸収量制御部分32-1、32-2を有する。この屈折量制御部分30-1、30-2は、領域20の上に形成され、吸収量制御部分32-1、32-2は吸収量制御材料製領域22の上に形成される。

【0030】屈折量制御部分30-1、30-2、吸収量制御部分32-1、32-2は、p型のInP材料製でその幅が2.2μmで、厚さは約1μmである。屈折量制御部分30-1と30-2は、p型のInP製の上部クラッド層でコア領域である領域20と、基板18（下部クラッド層）に挟まれてブランチ14-1、14-2に沿って屈折率変化を与える。吸収量制御部分32-1、32-2は、p型のInP上部クラッド層でコア領域である吸収量制御材料製領域22と、基板18（下部クラッド層）に挟まれてブランチ14-1、14-2

に沿って吸収量を変化させ、これによりクロストークを低減する。

【0031】このようにして基板18は光学スイッチ10の導波路構造内の下部クラッド層として機能する。屈折量制御部分30-1, 30-2は、約1-1.5mmの長さで、吸収量制御部分32-1, 32-2は、約200-1000 $\mu$ mの長さである。屈折量制御部分30-1, 30-2は、それぞれ上層34-1, 34-2を含み、これらは約1000オングストローム厚のp+InGaAs材料製で1 $\mu$ m厚の金属化層によりカバーされている。

【0032】吸収量制御部分32-1, 32-2はそれぞれ上層36-1, 36-2を含み、これらは約1000オングストローム厚のp+InGaAs材料製で1 $\mu$ m厚の金属化層によりカバーされている。領域20と22の上にリッジ型の導波路構造体を用いた例を示したが、ブランチ14-1, 14-2は他のタイプの導波路構造、例えば領域20, 22内に完全に埋め込んだ対称または非対称の埋め込み構造体あるいは半埋め込み構造体でもよい。

【0033】光学スイッチ10の詳細は、A. Sneh, J. E. Zucker, B. I. Miller の "Compact, Low-Crosstalk, and Low-Propagation-Loss Quantum-Well Y-Branch Switches," IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 8, No. 12, pp. 1644-1646, December 1996 に開示されている。上記の構成材料と寸法は、単なる一実施例である。例えば、InGaAsP/InP材料も1300nmまたは1500nm近傍の動作波長での使用に適している。InGaAs/InAlAsを含む他の材料を用いて屈折制御機能と吸収制御機能とを与えることもでき、これは1500nmの動作波長に適している。また、AlGaAs/GaAsは、850nmの動作波長に適している。デバイスの寸法は、動作波長と他のアプリケーションの仕様により変わる。

【0034】信号ルーティングモードにおいては、光学スイッチ10を用いて導波路カプラ12の入力部分24への光学信号をブランチ14-1, 14-2の選択したブランチの出力に配送する。光学スイッチ10の選択ブランチは、ブランチに屈折率変化を与えることにより「オン」状態にする。「オン」状態にあるブランチは、「オフ」状態にあるブランチよりも高い有効屈折率を有する。入力部分24に入った光学信号は、選択ブランチの中を低損失で、他のブランチよりも高い有効屈折率をもって伝播する。

【0035】光学スイッチ10の非選択ブランチは、この非選択ブランチ内の光学信号を大幅に減衰させる吸収変化とともに、上記の屈折率変化により「オフ」状態にされる。光学スイッチ10は放送モードとしても動作可能であり、このモードにおいては、導波路カプラ12の入力部分24に入る光学信号は、低い伝播損失をもって

ブランチ14-1, 14-2の両方の出力に与えられる。あるいは非接続モードにおいては、高い吸収が両方のブランチに与えられ、入力光学信号は、いずれのブランチの出力にも与えられない。

【0036】ブランチ14-1または14-2の屈折量制御部分30-1または30-2に与えられる屈折率変化は、例えば量子井戸材料中の量子閉じ込めシタルク効果(QCSE)、あるいはバルク材料のフランツケルディッシュ効果、あるいはキャリア注入またはキャリアディプレッションのようなキャリア誘導効果のような電子屈折効果を用いて行われる。QCSEまたはフランツケルディッシュ効果のような電子屈折効果を用いた実施例においては、光学スイッチ10のブランチ14-1は、このブランチ14-1のp型のInP製である屈折量制御部分30-1と、領域20と基板18により構成されたp-i-n構造に逆バイアスをかけることにより高い屈折率の「オン」状態にし、一方、14-2はバイアスをかけずにそれ故に低い屈折率の「オフ」状態にすることにより得られる。

【0037】p-i-nダイオード構造の逆バイアスにより、材料のバンドギャップよりも十分に低い動作波長においては、正の屈折率変化を生成し、一方、QCSEはフランツケルディッシュ効果よりもより明確な屈折率変化を引き起こす傾向がある。QCSEとフランツケルディッシュ効果による屈折率変化の特徴の詳細は、J. E. Zucker et al. 著の "Quaternary Quantum Wells for Electro-Optic Intensity and Phase Modulation at 1.3 and 1.55  $\mu$ m," Applied Physics Letters, Vol. 54, pp. 10-12, January, 1989 を参照のこと。

【0038】屈折率変化がキャリア誘導効果を用いて得られる実施例においては、光学スイッチ10のブランチ14-1は、14-2の屈折量制御部分30-2と領域20と基板18により構成される順方向バイアスされたp-i-nダイオード構造体に電流を注入し、ブランチ14-1の屈折量制御部分30-1と領域20と基板18により構成される対応するp-i-nダイオード構造体には、電流を注入しないようにして、オン状態にされる。この場合、得られた屈折率変化は、材料のバンドギャップ以下で動作するときには通常負である。

【0039】あるいは別法として、キャリア誘導効果による屈折率変化は、対応するp-i-nダイオード構造体に逆バイアスを掛けて、n型材料からキャリアをディプレッション(枯渇)させることにより得られ、この場合得られた屈折率変化は通常正である。このような実施例においては、ブランチ14-1は屈折量制御部分30-1と領域20と基板18により構成されたp-i-nダイオード構造体に逆バイアスを掛けることによりオン状態にされる。

【0040】キャリア誘導効果による屈折率変化の詳細は、J. F. Vinchant et al. 著の "InP/GaInAsP Guided-



Wave Phase Modulators Based on Carrier-Induced Effects: Theory and Experiment," Journal of Lightwave Technology, Vol. 10, No. 1, pp. 63-70, January, 1992 と、W.H. Nelson et al. 著の "Wavelength and Polarization-Independent Large Angle InP/InGaAsP Digital Optical Switches With Extinction Ratios Exceeding 20 dB," IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 6, No. 11, pp. 1332-1334, November, 1994 を参照のこと。

【0041】本発明はブランチ 14-1 と 14-2 の吸収量制御部分 32-1 と 32-2 と吸収量制御材料製領域 22 とを用いて、ブランチ 14-1 と 14-2 に吸収を導入することにより光学スイッチ 10 内のクロストーク性能を改善する。例えば、吸収制御が電磁吸収効果により得られる実施例においては、クロストークは、ブランチ 14-2 の吸収量制御部分 32-2 と吸収量制御材料製領域 22 と基板 18 により形成される p-i-n 構造体に逆バイアスを掛けることによりブランチ 14-1 をオン状態に、ブランチ 14-2 をオフ状態になるようなルーティングモードの動作でクロストークが改善される。

【0042】これは、ブランチ 14-2 内の一次光学信号パワーを抑制し、同じくブランチ 14-2 で閉じ込められた残留二次光学パワーを抑制するために非選択即ち「オフ」状態のブランチ 14-2 の吸収を増加させる。吸収量制御材料製領域 22 の吸収制御材料は、InGaAsP, InGaAs, AlGaAs あるいは他の適当な半導体量子井戸またはバルク材料である。

【0043】InGaAsP の吸収特性の詳細は、K. Yamada et al. 著の "Low Polarization Dependence (< 0.3dB) in an EA Modulator Using a Polyimide-Buried High-Mesa Ridge Structure with an InGaAsP bulk absorption layer," Electronics Letters, Vol. 31, No. 3, pp. 237-238, February, 1995 と、D.J. Robbins 著の "Franz-Keldysh Effect in InGaAsP," pp. 435-437 in "Properties of Indium Phosphide, EMIS Datareview Series No. 6, INSPEC, New York, September, 1990 に記載されている。

【0044】光学スイッチ 10 の吸収量制御部分 32-1 と 32-2 内の吸収変化は、電子吸収効果またはゲイン切り換えによって得られる。この電子吸収効果は、上記で説明した電子屈折制御効果と同様な方法により得られるが、但し材料のバンドギャップは、上記の Yamada et al. 著の論文に開示されているように、動作波長近傍に選択されている点で異なる。吸収制御が電子吸収技術と p-i-n ダイオード構造の逆バイアスを用いて得られる実施例においては、その結果得られた吸収変化は通常正である。

【0045】ゲイン切り換えを用いる実施例においては、吸収量制御部分は、バイアスをかけずに高い吸収を

示し、負の吸収変化は、電流を順方向にバイアスされた p-i-n ダイオード構造体に注入することにより得られる。材料の選択とダイオードの設計は、レーザダイオードまたはレーザ増幅器アプリケーション等で用いられるのと同様である。分離損失を克服するために、大きなゲインは図 1 の実施例では必要とされない。所望の吸収変化は、短い吸収制御材料部分と小さな注入電流を用いてゲイン切り換えの実施例で得ることができる。

【0046】このゲイン切り換えを用いて、吸収制御を行う本発明の実施例は、バイアスを掛けずに吸収量制御部分を高い吸収であるオフ状態にし、電流を順方向にバイアスされたダイオード構造に注入して吸収損失を克服するようにその部分にゲインを誘導することによりオン状態にしている。誘導されたゲインの量は、吸収損失をちょうどオフセットするのに十分な程度に選択され、その結果、この選択は動作波長において透明となり、あるいは他の信号パスの損失もオフセットされるような若干余分のゲインを与えるようにしている。

【0047】吸収変化が図 1 の光学スイッチ 10 内でいかなる方法で起こされても吸収量制御材料製領域 22 の選択は、吸収量制御部分 32-1 と 32-2 のオフ状態における余分の伝播損失が低いように、そして好ましくは 2 dB 以下となるようにし、一方オフ状態からオン状態への吸収変化  $\Delta\alpha$  は、15 dB 以上の抑制比が得られるように行われる。当然のことながら、吸収制御材料の他の選択要件もアプリケーションによっては、用いることができる。

【0048】以下の実施例は、吸収量制御材料製領域 22 内の電子吸収技術を用いて吸収量制御部分 32-1, 32-2 内で吸収制御を行う光学スイッチ 10 の実施例を示す。図 2 は、InP に格子整合した InGaAsP の電子吸収材料の吸収係数  $\alpha_0$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) と離調エネルギー ( $\text{meV}$ ) との関係を表すグラフである。この図は、約 43.5 meV の離調エネルギー時の約 45  $\text{cm}^{-1}$  の  $\alpha_0$  の値に基づいている。前掲の K. Yamada et al. 著の論文では、InGaAsP 材料は、1.46  $\mu\text{m}$  の波長  $\lambda_p$  と約 43.5 meV の離調エネルギーに相当する約 1.55  $\mu\text{m}$  の動作波長において、約 2 dB/100  $\mu\text{m}$  のゼロ電圧受動損失  $L_p$  を示すことを開示している。

【0049】図 2 に示した係数  $\alpha_0$  は、前掲の D.J. Robbins の文献と、InP と InGaAs の両方に対する測定結果に基づいた他の離調エネルギー値の推定である。InGaAsP の電子吸収材料の受動損失  $L_p$  は次式で与えられる。

$$L_p = 4.434 \Gamma \alpha_0 L$$

ここで  $\Gamma$  はモード閉じ込め係数で、 $L$  は吸収量制御材料製領域 22 の長さである。吸収係数  $\alpha_0$  の離調エネルギー DE の推定依存性は次式で表される。

$$\alpha_0 \approx \exp(-DE / (8.4 \text{ meV}))$$

この式は、前掲の D.J. Robbins の文献の測定結果に力

ープを適合させて得られたもので、それを図2に示す。

【0050】図2から明らかなように吸収変化 $\Delta\alpha$ は、最大離調エネルギー点で最低であり、これは電子吸収材料の動作波長範囲内の最長波長に対応する。 $\alpha_0$ に起因する伝播損失は、最小離調エネルギー点で最大になり、これは動作波長範囲内の最短波長に対応する。65-70 meVの範囲の離調エネルギーは、約1550 nmを中心とする約30 nmの波長範囲に対応し、これは43.5 meVの離調エネルギー時よりも75 meV離調エネルギー時の約4分の1の吸収変化 $\Delta\alpha$ を生成するものと期待されている。

【0051】43.5 meV離調エネルギー時の吸収変化は、 $\Gamma$ の値が約1の場合には $250\text{ cm}^{-1}$ である。43.5 meV離調エネルギー時には、約200  $\mu\text{m}$ の長さの吸収制御デバイスは、約10 V/ $\mu\text{m}$ の電界に対しては20-25 dBの光学信号レベル変調を与える。そのため約800  $\mu\text{m}$ の長さの吸収制御デバイスが光学スイッチ10のブランチ14-1と14-2の吸収量制御部分32-1と32-2において、20-25 dBの光学信号減衰を与えるために必要である。このような吸収制御デバイスは、図2の吸収係数に基づいて60 meV離調エネルギー時に約2.5 dBの最悪の受動損失 $L_p$ を有すると予測される。

【0052】図3、4は、異なる長さのY型ブランチデジタル光学スイッチの誘導屈折率変化とクロストークとの関係を表すグラフである。このY型ブランチスイッチは、領域20とブランチ14-1と14-2のみを有し、吸収制御特徴部分を有さないものとする。このスイッチは、二角の重み付き結合整形を有する構造であるとし、ブランチ14-1、14-2は、その開脚角は約0.12°で、初期離間スペースは1.3  $\mu\text{m}$ である。

【0053】屈折量制御材料製領域20のコアとブランチ14-1と14-2の屈折量制御部分30-1と30-2のInPクラッド層との間の屈折率差は、0.01であった。図3は、3 mm長のY型ブランチの14-2の出力点で測定された光学信号パワーと、このスイッチのブランチ14-1内に誘導された屈折率変化との関係を表している。図3から明らかなように、クロストークの大きな変化が、誘導屈折率変化の範囲に亘って得られ、上記の吸収量制御部分を有さない3 mm長のY型ブランチスイッチは、過剰な極性依存性と低い製造許容誤差が必要であることを示している。

【0054】図4は、図3のY型ブランチと同一構造で1500  $\mu\text{m}$ 長さのY型ブランチデジタル光学スイッチの第1ブランチと第2ブランチ内の出力光学パワーを測定した結果を示す。そして、これらには本発明の吸収制御特性を有していないものとする。第1ブランチと第2ブランチの光学パワーは、第1ブランチ内の誘導屈折率変化の関数として示している。図4から明らかなように、第1ブランチ内の光学パワーは、一定であり少なく

とも-10 dBのクロストークが屈折率変化の全範囲に亘って観測された。

【0055】本発明によりクロストークを改善するため、吸収量制御部分が図4を特徴とする上記の1500  $\mu\text{m}$ のY型ブランチスイッチに付加された。例えば、それぞれ第1ブランチと第2ブランチの吸収量制御部分32-1、32-2を含む上記の吸収量制御部分と下部構造の吸収量制御材料製領域22とがこのスイッチに付加された。光学スイッチ10のこの付加された吸収量制御部分は、その長さが約800  $\mu\text{m}$ のオーダーで、その結果スイッチの全長は800  $\mu\text{m}$ 増加したことにより2.3 mmとなった。

【0056】この吸収量制御部分に起因する付加的な伝播損失は約2.5 dBであるが、このようなスイッチ構成は、例えば拡散型スイッチのような従来のクロスオーバー低減技術に対し、数多くの優れた利点を有する。例えば、本発明により吸収量制御部分を追加する代わりに別のスイッチ段を元のY型ブランチスイッチを拡張するために追加し、この追加した段に起因する付加的損失は、約1 dBを超えるY結合損失と、0.5 dBの曲げ損失と、約2 dB/cm掛ける3 mmのスイッチの長さを加えたものとなり全部で損失は2.1 dB (1 + 0.5 + 2 × 0.3 dB) だけ増加する。

【0057】しかし、拡張したスイッチの長さは、3 mmのスイッチの長さの2倍と約1 mmの曲げ部分でデバイスの全長は、約7 mm (2 × 3 + 1 mm) となる。上記の1.5 mm長さのスイッチのような短いデバイスでは、スイッチが2個の拡張構成におけるような十分な極性負感受性と低いクロストークを提供することはできない。この拡張方式によるアプローチは、本発明により吸収量制御部分を組み込んだクロストークを低減したスイッチに比較してデバイスの長さが増加してしまう。

【0058】さらにまた本発明の吸収制御方式のアプローチは、拡張型のスイッチからなるスイッチ列に必要とされる複雑な電子制御を回避できる。本発明によるデジタル光学スイッチの吸収量制御部分と屈折量制御部分の相対的な切り換え段は、スイッチ列を通過するパスとは独立しており、そのためある種のスイッチ列制御ラインは、あらかじめ永続的に短絡されている。これにより拡張型スイッチ列に比較してスイッチ列の制御の複雑さをかなり低減できる。

【0059】本発明による屈折制御および吸収制御方式のデジタル光学スイッチは、より大きなスイッチ列内の基本的組立ブロックとして機能できる。例えば、図1の1 × 2の光学スイッチ10を用いて1 × N、N × 1、N × M、N × Nのスイッチ列を構成することができる。但し、MはNに等しくない。さらにまた、N × Nの完全なノンブロックのスイッチ列は、N個の1 × N列を入力として、N個のN × 1列を出力として用いることにより構成できる。本発明のデジタル光学スイッチは、図1に示

した基本的なY型ブランチ構造以外の $1 \times N$ または $2 \times 2$ の構造体で実現できる。本発明による屈折制御/吸収制御型のデジタル光学スイッチ用の別の $2 \times 2$ の構成例を図7に示す。

【0060】図5A-Cは、本発明によるY型ブランチスイッチを相互接続することにより構成した $1 \times 4$ の光学スイッチの動作を示す。図5Aは、第1、第2、第3のY型ブランチスイッチ50、52、54を含む $1 \times 4$ の光学スイッチである。Y型ブランチスイッチの各々は、入力56に関連した第1ブランチと第2ブランチとを有する。各スイッチの第1ブランチ即ち上側ブランチは、屈折量制御部分60-1と吸収量制御部分62-1とを有し、一方それに対応する第2ブランチ即ち下側ブランチは、屈折量制御部分60-2と62-2とを有する。

【0061】スイッチ50の第1ブランチの出力は、スイッチ52の入力56に導波路湾曲部分66を介して結合され、一方、スイッチ50の第2ブランチの出力は、スイッチ54の入力56に導波路湾曲部分68を介して結合される。図5Aの $1 \times 4$ スイッチは、ルーティングモード動作をするよう構成され、その結果スイッチ50の入力56へ入る入力光学信号は実線の水平方向矢印で示すように、スイッチ52の第1ブランチの出力に配送される。このようなルーティング(配送)を行うためにスイッチ50と52の屈折量制御部分60-1はオン状態であり、一方他の全ての屈折量制御部分60-1、60-2は、オフ状態に維持される。

【0062】クロストークの低減は、スイッチ50と52の非選択の第2ブランチの62-2をオン状態に、一方他の全ての吸収量制御部分をオフ状態に維持することにより行われる。この $1 \times 4$ スイッチの非選択ブランチ内に吸収部分を付加する構成によりスイッチの大きさおよびスイッチングの複雑さを不等に増加することなくクロストークを大幅に改善できる。クロストークはさらにスイッチ54の吸収量制御部分62-1と62-2をオン状態にすることにより改善される。

【0063】図5においてBは、Aの $1 \times 4$ スイッチを放送モード動作に構成したもので、スイッチ50の入力56へ入る入力光学信号は、実線の水平方向矢印に示すように $1 \times 4$ スイッチの4個の出力の全てに放送される。この放送動作モードにおいては、 $1 \times 4$ スイッチの全ての屈折量制御部分と吸収量制御部分とはオフ状態にされる。図5CはAの $1 \times 4$ スイッチを非接続モードに構成したもので、スイッチ50の入力56へ入る入力光学信号は、 $1 \times 4$ スイッチの全ての出力に与えられない。この非接続モード動作においては、全ての屈折量制御部分はオフ状態にされ、一方全ての吸収量制御部分はオン状態にされてクロストークを制限する。

【0064】図6は、本発明により構成した $1 \times 2$ のY型ブランチデジタル光学スイッチを4個用いて構成した

完全にノンブロックの $2 \times 2$ の光学スイッチの構成を示す。図6の完全にノンブロックの $2 \times 2$ スイッチは、第1、第2、第3、第4のY型ブランチスイッチ70、72、74、76を有し、それぞれ屈折量制御部分80-1と吸収量制御部分82-1の第1ブランチ即ち上側ブランチと、屈折量制御部分80-2と吸収量制御部分82-2の第2ブランチ即ち下側ブランチとを有する。

【0065】第1と第2のスイッチ70、72は入力部分77を有し、一方第3と第4のY型ブランチスイッチ74、76は出力部分78を有する。スイッチ70の第1ブランチは、スイッチ74の第1ブランチに導波路部分86を介して結合され、スイッチ70の第2ブランチは、スイッチ76の第1ブランチに導波路湾曲部分88を介して結合され、スイッチ72の第1ブランチは、スイッチ74の第2ブランチに導波路湾曲部分90を介して結合され、スイッチ72の第2ブランチはスイッチ76の第2ブランチに導波路部分92を介して結合されている。

【0066】図6の完全にノンブロックの $2 \times 2$ スイッチでは、スイッチ70の入力部分77へ入る入力光学信号は、図の実線の水平矢印に示すようにスイッチ76の出力部分78に伝播し、スイッチ72の入力部分77へ入る入力信号は、点線の矢印で示すようにスイッチ74の出力部分78に伝播する。このルーティングモードは、スイッチ70と74の屈折量制御部分80-2である第2ブランチをオン状態に、スイッチ72、76の第1ブランチである屈折量制御部分80-1をオン状態に、一方を非選択ブランチの屈折量制御部分80-1と80-2をオフ状態にすることにより得られる。

【0067】本発明によるクロストークの低減は、スイッチ70と74の第1ブランチである吸収量制御部分82-1をオン状態に、スイッチ72、76の第2ブランチである吸収量制御部分82-2をオフ状態にして、一方全ての他の吸収量制御部分82-1と82-2をオフ状態にすることにより得られる。このようにして $2 \times 2$ のスイッチの非選択ブランチの吸収量制御部分は、これらのブランチのクロストークを低減するために、高吸収のオン状態にされる。

【0068】図7は本発明により方向性カプラとして構成された $2 \times 2$ のスイッチ100を示す。このスイッチ100は、上側ブランチである第1ブランチ102-1と下側ブランチである第2ブランチ102-2を有する。この上部ブランチ102-1は、入力部分104-1と第1吸収量制御部分106-1と屈折量制御部分108-1と第2吸収量制御部分110-1と出力部分112-1を有する。下部ブランチ102-2は、入力部分104-2と第1吸収量制御部分106-2と屈折量制御部分108-2と第2吸収量制御部分110-2と出力部分112-2を有する。

【0069】スイッチ100の吸収量制御部分と屈折量

19

制御部分とは、図1の1×2のY型ブランチスイッチ10の対応する部分と同様に構成される。このスイッチ100は、上部ブランチ102-1の入力部分104-1に入る入力光学信号が屈折量制御部分108-1と108-2を介して下部ブランチ102-2の出力部分112-2（実線の水平矢印）に結合されるような動作モードに構成される。

【0070】この動作モードは、屈折量制御部分108-2をオン状態に、一方屈折量制御部分108-1と吸収量制御部分106-1、106-2、110-2をオフ状態にすることにより得られる。本発明によるクロストークの低減は、上部ブランチ102-1の第2吸収量制御部分110-1をオン状態にすることにより得られる。スイッチ100は、より大きなN×Nのスイッチ列を構成するような基本的組立ブロックとして用いることもできる。

【0071】

【発明の効果】以上述べたように、本発明は従来のスイッチを拡張することに伴う、スイッチの大きさ、挿入損失、制御の複雑さを回避しながらクロストークを大幅に減らすことのできる屈折制御／吸収制御デジタル光学スイッチを提供できる。スイッチ内のモード干渉により誘導されるクロストークは、スイッチ構造体の別の部分に適正な損失利得および／または屈折率変化を与えることにより抑制できる。本発明は1×2のY型ブランチスイッチ、2×2の方向性カプラスイッチのような様々な形態で実施できる。本発明により構成された基本スイッチを用いてより大きな1×N、N×1、N×M、N×Nスイッチ列を構成し、これにより波長分割多重光学システムにおけるクロストーク性能を改善できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による屈折制御と吸収制御の集積デジタル光学スイッチの斜視図

【図2】InPに格子整合したInGaAsPの吸収率 $\alpha_0$ と離調エネルギーとの関係を表すグラフ

【図3】クロストークを示すデジタル光学Y型ブランチスイッチのブランチ内の光学パワーと屈折率の変化との関係を表すグラフ

【図4】クロストークを示すデジタル光学Y型ブランチスイッチのブランチ内の光学パワーと屈折率の変化との関係を表すグラフ

【図5】本発明のデジタル光学Y型ブランチスイッチを

20

用いて構成した1×4光学スイッチの動作を表す図

【図6】本発明のデジタル光学Y型ブランチスイッチを用いて構成した2×2光学スイッチを表す図

【図7】本発明による方向性カプラとして実現した屈折制御と吸収制御の集積デジタル光学スイッチを表す図

【符号の説明】

10 デジタル光学スイッチ

12 導波路カプラ

14-1 第1ブランチ

14-2 第2ブランチ

18 基板

20 屈折量制御材料製領域

22 吸収量制御材料製領域

24 入力部分

26 導波路テーパ部分

27 上層

30 屈折量制御部分

32 吸収量制御部分

50 第1 Y型ブランチスイッチ

52 第2 Y型ブランチスイッチ

54 第3 Y型ブランチスイッチ

56 入力

60, 80 屈折量制御部分

62, 82 吸収量制御部分

66, 68 導波路湾曲部分

70 第1 Y型ブランチスイッチ

72 第2 Y型ブランチスイッチ

74 第3 Y型ブランチスイッチ

76 第4 Y型ブランチスイッチ

77 入力部分

78 出力部分

86, 92 導波路部分

88, 90 導波路湾曲部分

100 スイッチ

102-1 上部ブランチ

102-2 下部ブランチ

104 入力部分

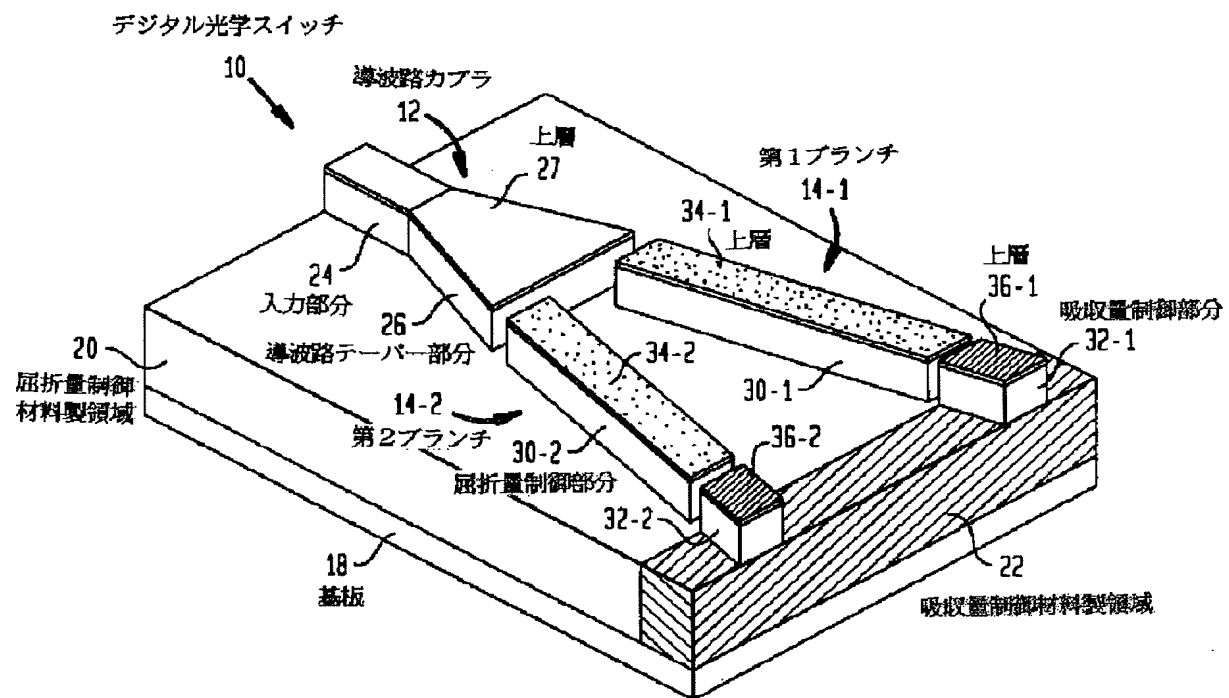
106 第1吸収量制御部分

108 屈折量制御部分

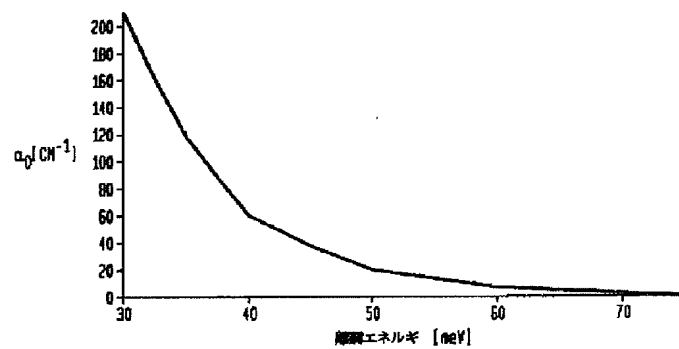
110 第2吸収量制御部分

112 出力部分

【図1】



【図2】

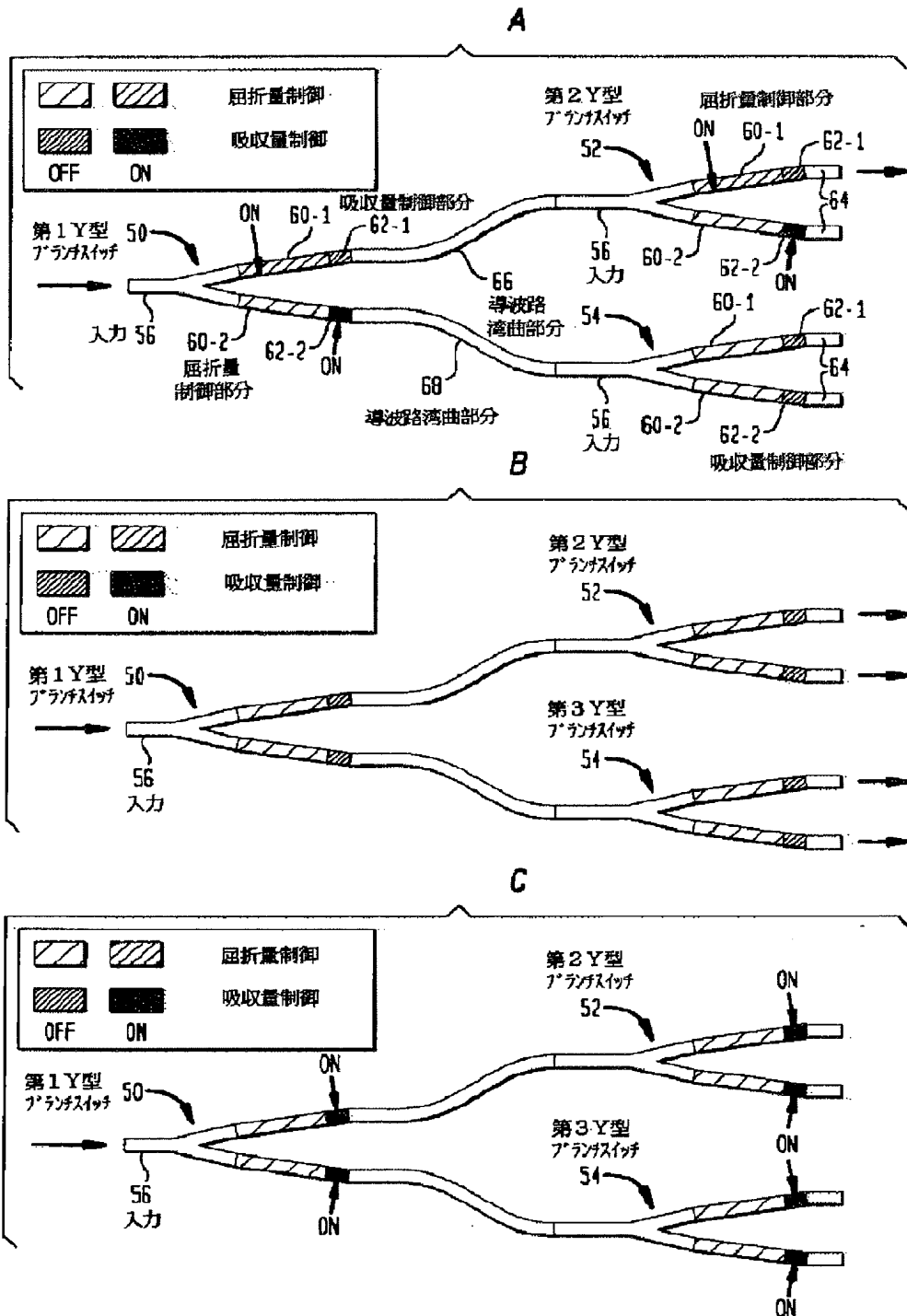


屈折率変化 (x)	ブランチパワーの安定値 (y)
5	0.015
6	0.001
7	0.000
8	0.004
9	0.012
10	0.025

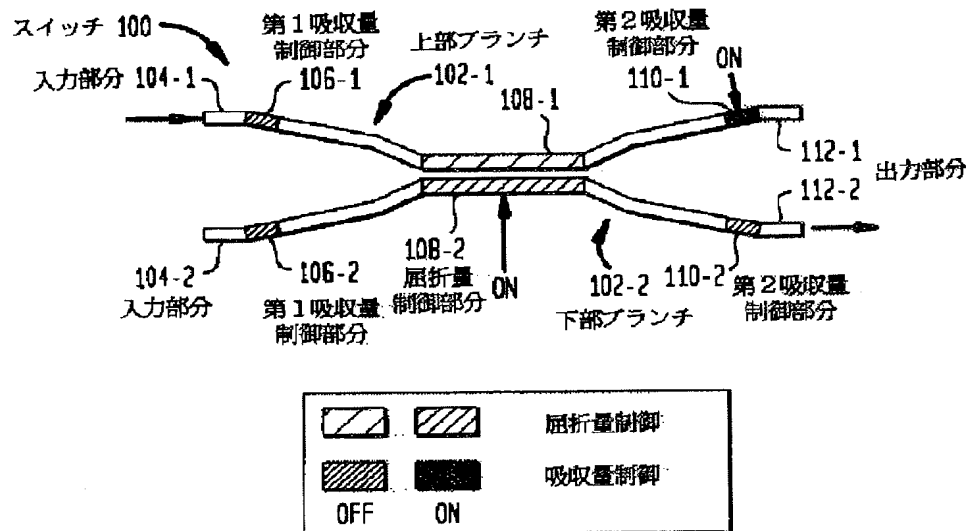
屈折率変化 (X)	ブランチ1の決定値 (Y)	ブランチ2の決定値 (Y)
5	0.85	0.08
6	0.87	0.06
7	0.88	0.05
8	0.89	0.05
9	0.89	0.05
10	0.88	0.05

Figure 1 is a schematic diagram of a variable optical delay device. The device consists of two parallel optical paths, labeled "第1 Y型" (Type 1 Y) and "第2 Y型" (Type 2 Y) on the left, and "第3 Y型" (Type 3 Y) and "第4 Y型" (Type 4 Y) on the right. Each path has an "入力部分" (Input part) and an "出力部分" (Output part). The paths are connected by a central "導波路湾曲部分" (Waveguide curved part). Various control sections are indicated: "屈折量制御部分" (Refractive index control part) and "吸収量制御部分" (Absorption control part). Specific components are labeled with numbers: 70, 72, 74, 76, 77, 78, 80-1, 80-2, 82-1, 82-2, 86, 88, 90, 92. A legend at the bottom shows patterns for "OFF" and "ON" states for "屈折量制御" (Refractive index control) and "吸収量制御" (Absorption control).

【図5】



【図7】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259

600 Mountain Avenue,  
Murray Hill, New Jersey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 アナット スネ

アメリカ合衆国, 08876 ニュージャージー,  
ブランチバード, イエロー ジャケット  
コート 11

(72)発明者 ジェーン エリサ ブッカー

アメリカ合衆国, 07747 ニュージャージー,  
アバーディーン, チルトン レイン